

*С.М. ДЗЮБА*, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф. РВС ГОУ ВПО ТГТУ (г. Тамбов),

*Н.В. БЕЛЯНИНА*, канд. техн. наук, доц., зав. каф. информатика НАЧОУ ВПО СГА (г. Москва),

*М.Н. ПРОКОПЕНКО*, канд. техн. наук, доц. каф. информационных технологий ГОУ ДПО БелРИПКППС (г. Белгород),

*С.А. СЕРОВИКОВ*, аспирант НАЧОУ ВПО СГА (г. Белгород)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ МЕГАПОЛИСОВ**

В работе показано использование современных информационных технологий для решения актуальной прикладной задачи экологического мониторинга загрязнения атмосферы мегаполисов. Ил.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 11 назв.

**Ключевые слова:** информационные технологии, экологический мониторинг, загрязнение атмосферы.

**Постановка проблемы.** Уровень жизни населения, проживающего в крупных промышленных городах, определяется многими параметрами, основным из которых по данным ООН является индекс развития человеческого потенциала, включающий такие составляющие как уровень доходов, уровень образования и продолжительность жизни. В свою очередь, продолжительность жизни на 50% зависит от образа жизни; на 20% – от генетической наследственности человека; на 20% – от экологической обстановки в местах проживания человека и на 10% – от состояния здоровья человека. Причем последние два показателя имеют четко выраженную корреляционную связь.

При оценке экологического состояния городской среды доминирующим можно назвать загрязнение воздуха выбросами автомобильного транспорта. Для оздоровления экологической обстановки необходимо создание системы экологической защиты, решающей задачи по осуществлению мониторинга воздушной среды, оперативному обнаружению текущего изменения состояния выбросов в атмосфере, прогнозу их распространения в пространстве и выявлению мест повышенной концентрации вредных веществ с целью принятия обоснованных административных решений по санитарно-гигиеническим, проектно-техническим и другим мероприятиям.

Таким образом, проблема организации экологического мониторинга загрязнения атмосферы от автотранспорта является актуальной.

**Анализ литературы.** В [1 – 3] представлено описание и задачи проведения экологического мониторинга загрязнения атмосферы мегаполисов, в частности, выбросами от автотранспорта. В [4 – 7] дано общее описание

математических методов, использованных при разработке математических моделей, позволяющих рассчитывать значения концентрации загрязняющих веществ в зависимости от различных наборов исходных данных. В [8, 9] выполнен обзор ГИС, а в [10, 11] приведены некоторые результаты разработки.

**Цель статьи** – разработка пользовательского приложения на базе ГИС, позволяющего качественно и количественно оценить уровень загрязнения приземного слоя атмосферы мегаполиса выбросами от автотранспорта.

**Сущность экологического мониторинга.** При интенсивной урбанизации и росте мегаполисов автомобильный транспорт стал самым неблагоприятным экологическим фактором в охране здоровья человека и природной среды в городе. Проблема загрязнения воздушной среды города выбросами от автотранспорта в последние годы становится наиболее актуальной для мегаполисов. Это связано, во-первых, с тенденцией увеличения автотранспорта вдвое за каждые 3 – 5 лет и возрастанием количества производимых им выбросов до половины общего количества выбросов загрязняющих веществ в крупных городах; во-вторых, автотранспорт относится к подвижным источникам загрязнения, пространственная рассредоточенность которых в непосредственной близости к жилым районам создает общий повышенный фон загрязнения и осложняет внедрение технических средств защиты от загрязнения; в-третьих, низкое пространственное положение источника загрязнения от земной поверхности (в крупных городах примеси в основном сосредоточены в слое толщиной 1 – 2 км, а в небольших городах – несколько сотен метров) приводит к тому, что отработанные газы автомобилей скапливаются в зоне дыхания людей, слабее рассеиваются ветром по сравнению с промышленными выбросами и, естественно, негативно сказываются на здоровье людей.

Экологический мониторинг – это информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов.

Мониторинг включает три основных направления деятельности:

1. Наблюдения за факторами воздействия и состоянием среды.
2. Оценку фактического состояния среды.
3. Прогноз состояния окружающей природной среды и оценку прогнозируемого состояния.

Следует принять во внимание, что сама система мониторинга не включает деятельность по управлению качеством среды, но является источником необходимой для принятия экологически значимых решений информации.

Система мониторинга реализуется на нескольких уровнях, которым соответствуют специально разработанные программы:

- импактном (изучение сильных воздействий в локальном масштабе);
- региональном (проявление проблем миграции и трансформации загрязняющих веществ, совместного воздействия различных факторов, характерных для экономики региона);
- фоновом (на базе биосферных заповедников, где исключена всякая хозяйственная деятельность).

В идеальном случае система импактного мониторинга должна накапливать и анализировать детальную информацию о конкретных источниках загрязнения и их воздействии на окружающую среду.

Информация, полученная в результате измерений, позволяет в определенном смысле следить за поведением исследуемой системы, однако основная задача заключается в оценке возможных последствий тех или иных воздействий и в поиске оптимальных решений при планировании хозяйственной деятельности с учетом допустимых нагрузок на окружающую среду и социально-экономических критериев. Поэтому только с помощью экспериментальных исследований в сочетании с методами математического моделирования можно сформулировать эффективные подходы к решению данного класса задач.

### **Роль математического моделирования в экологическом мониторинге.**

Развитие методов прогноза загрязнения воздуха основывается на результатах теоретического и экспериментального изучения закономерностей распространения примесей от их источников. Такое изучение определяется главным образом по двум направлениям. Одно из них состоит в разработке теории атмосферной диффузии. Другое направление связано, в основном, с эмпирико-статистическим анализом распространения загрязняющих веществ в атмосфере и с использованием для этой цели интерполяционных моделей, большей частью, гауссовского типа.

Первое направление является более универсальным, поскольку позволяет исследовать распространение примесей от источников различного типа при разных характеристиках среды. Оно дает возможность использовать параметры турбулентного обмена, применяемые в метеорологических задачах тепло- и влагообмена в атмосфере. Это обстоятельство весьма существенно для практического использования результатов теории к прогнозированию загрязнения воздуха с учетом ожидаемого изменения метеорологических условий.

К сожалению, сложность в получении оперативной информации о выбросах, а также недостаточное развитие пригодных для оперативного использования схем прогноза вертикального распределения метеорологических величин ограничивает внедрение методов численного прогноза загрязнения воздуха и затрудняет совершенствование прогностических схем. Наряду с моделями прогноза локальных концентраций для городов целесообразна разработка моделей прогноза осредненных характеристик загрязнения воздуха, более тесно связанных для обширных

районов города с метеорологическими параметрами. Использование средних характеристик и других методов фильтрации и сглаживания случайных процессов может существенно повышать оправдываемость прогноза.

Сравнительно просты для описания закономерностей распределения примесей гауссовы модели, чем и объясняется довольно широкое использование в различных странах работ второго направления.

В ряде стран получили распространение методы, в которых в качестве предикторов и предикатов используются только метеорологические данные. Такие методы рекомендуется использовать, прежде всего, при наличии обширных индустриальных территорий, слабо освещенных данными наблюдений за содержанием примесей в воздухе. В районах, где организован регулярный контроль загрязнения атмосферы, рекомендуется, как определенный шаг вперед, использовать статистические схемы, в число предикторов которых входят и измеренные значения концентраций. Достоинством этих схем является разработанность формального аппарата, относительная простота реализации, возможность эффективного использования в рамках систем автоматизированного контроля загрязнения атмосферы и достаточно высокая оправдываемость.

Ограниченность статистических схем связана, главным образом, с недостаточной степенью физичности используемых моделей (или предполагаемых связей), и с малой разработанностью методов статистического прогноза сравнительно редко встречающихся явлений, что имеет место для случаев особо высокого загрязнения воздуха, а также с трудностями учета изменений в режиме выбросов в атмосферу. При оценке статистико-эмпирических методов прогноза загрязнения воздуха в городах следует учесть, что оно обусловлено действием большого числа факторов, а интервал наблюдений ограничен. Поэтому применение наиболее современных способов статистического анализа не всегда достаточно и для повышения их эффективности нужно выяснить влияние ряда главных факторов на основании физических соображений.

Между этими двумя подходами существует близкая связь, они описывают одно и то же явление, однако области их применения не всегда перекрываются. Имеется ряд задач атмосферной диффузии, где рассмотрение возможно только на основе одной из этих теорий. С точки зрения практического применения возможность сопоставления результатов двух различных подходов к описанию турбулентной диффузии оказывается весьма полезной. Она позволяет обоснованно выбирать коэффициенты полуэмпирического уравнения для определенных задач, определять в конкретных случаях область применимости того или иного подхода, поскольку каждый из них имеет и преимущества и недостатки. В частности, в некоторых случаях рационально применять комбинацию этих подходов.

Таким образом, с точки зрения практического применения, методы прогноза загрязнения воздуха должны сочетать в себе преимущества

указанных методов моделирования. Значительные возможности здесь связаны с совершенствованием численных методов прогноза на основе более полного учета физики и химии атмосферных процессов, определяющих загрязнение воздуха, с широким использованием данных автоматизированных систем контроля загрязнения воздуха.

**Применение геоинформационных систем для экологического мониторинга.** Для реализации разработанных математических моделей необходимо применение высокотехнологичного ПО. Поскольку работа во многом связана с картографической информацией, визуализацией результатов расчетов, то поиск необходимого ПО можно провести в классе геоинформационных систем (ГИС). Анализ и сравнительная оценка существующих на рынке геоинформационных мониторинговых систем (ГИМС) показал, что ни одна из них не обладает возможностью взаимодействия ГИМС с другими приложениями и внешними техническими устройствами, осуществляющими регулирование транспортного движения с целью минимизации вреда, наносимого населению, и не отвечает в полной мере требованиям открытости программных кодов мониторинговых систем (таблица). Таким образом, определяется необходимость создания ГИМС-приложения, которое позволит совмещать процедуры визуализации и расчета значений концентраций загрязняющих веществ, что, в свою очередь, даст возможность оценить уровень экологической опасности рассматриваемой ограниченной территории и выработать предложения по его снижению.

**Результаты работы пользовательского ГИМС-приложения, осуществляющего экологический мониторинг.** В обобщенном виде разработанное ГИМС-приложение представляет собой совокупность отдельных модулей, интегрированных в единую программную оболочку (рис. 1). Принцип модульности предполагает процесс синтеза ГИМС-приложения как совокупности связанных компонент, допускающих их относительно независимую разработку и использование.

Носителем информации о значении концентрации вредного вещества в какой-либо точке рассматриваемого участка может быть семантическая характеристика некоторого точечного объекта, который не имеет реального представления на местности. Карта района поделена на ячейки заданного размера, а в узлах "сетки" расположены реперные точки, несущие помимо метрической информации – координат положения на карте, числовую семантическую характеристику, представляющую собой рассчитанные по математической модели значения концентраций вредных примесей в атмосферном воздухе.

Для визуализации результатов было предложено применить растр качеств – растровая модель местности, получаемая путем анализа свойств объектов местности, градации их по заданным уровням и заполнения элементов растра соответствующим цветом.

Таблица

Сравнительная характеристика программных продуктов, предназначенных для оценки экологической ситуации на местности

<i><b>Возможности программных комплексов</b></i>	<i><b>Zone</b></i>	<i><b>Arcview GIS</b></i>	<i><b>Магистраль</b></i>
Поддержка полной цифровой модели ландшафта (включая характеристики подстилающей поверхности, рельеф, здания и сооружения, автомагистрали, прочие источники антропогенного загрязнения)	ДА	ДА	НЕТ
Расчет трехмерных полей загрязнения атмосферы с учетом экранирующего влияния зданий	ДА	НЕТ	НЕТ
Использование встроенных методических материалов по организации расчетов	ДА	НЕТ	ДА
Ввод и учет в вычислениях текущей метеорологической информации	ДА	ДА	ДА
Формы представления оценки интенсивности осаждения примесей на подстилающую поверхность	ДА	ДА	ДА
Расчет полей среднегодовых концентраций	ДА	ДА	ДА
Возможность прогноза развития ситуации на основании имеющихся данных	ДА	ДА	ДА
Совместимость форматов данных с другими программами	НЕТ	ДА	НЕТ
Открытость модификации	НЕТ	ДА	НЕТ
Необходимость применения других программных средств и расчетных модулей	ДА	ДА	ДА
Возможность подключения внешних технических устройств	НЕТ	НЕТ	НЕТ
Разработчик	ЗАО "Лен ЭкоСофт"	ESRI (США)	Фирма "Интеграл"

Полученные при заданных параметрах расчета значения концентраций вредных веществ, растровые представления расчетных оценок приземной концентрации вредных веществ, показаны на рис. 2.

Отображение полученного растра совместно с цифровой картой изучаемого района мегаполиса позволяет выделить зоны особой опасности для населения, интенсивность автомобильного движения вблизи которых требует существенного снижения. Таким образом, разработанное ГИМС-приложение позволяет оценить уровень экологической опасности рассматриваемой территории и выработать предложения по его снижению.

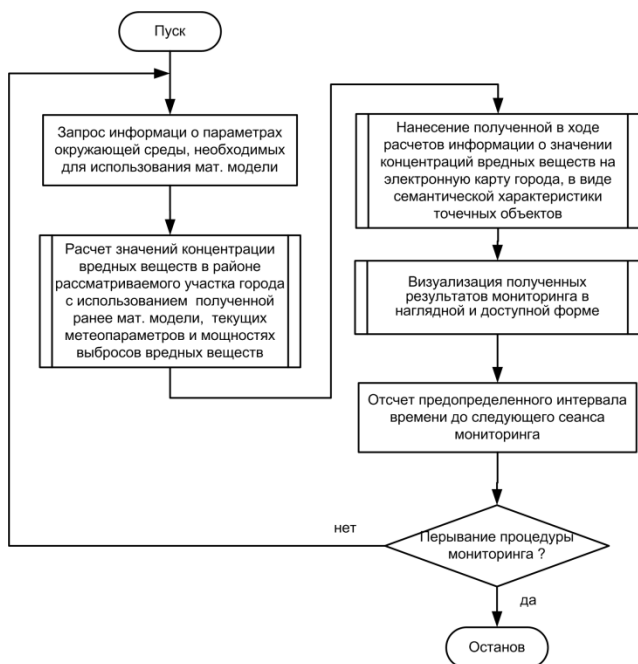


Рис. 1. Схема функционирования ГИМС-приложения

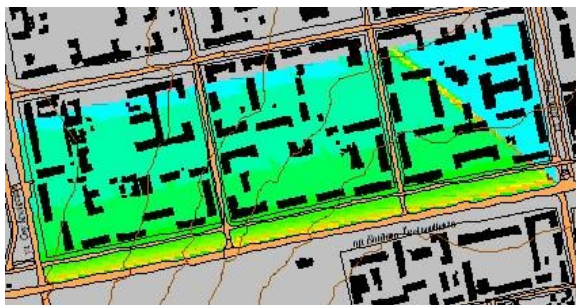


Рис. 2. Растровые представления расчетных оценок приземной концентрации вредных веществ

**Выводы.** 1. Проведен анализ существующих геоинформационных мониторинговых систем, показавший, что для достижения поставленной в исследовании цели необходимо создать авторское ГИМС-приложение, позволяющее совмещать процедуры визуализации и расчета значений концентраций загрязняющих веществ. 2. Разработана математическая модель, позволяющая проводить расчеты значений концентрации загрязняющих

веществ в атмосфере с учетом гидрометеорологических условий и антропогенных факторов. 3. Разработано прикладное ГИМС-приложение, позволяющее проводить расчет значений концентрации загрязняющих веществ в атмосфере и проводить визуализацию полей концентраций на цифровой карте города.

**Список литературы:** 1. Пененко В.В. Модели и методы для задач охраны окружающей среды / В.В. Пененко, А.Е. Алоян. – Новосибирск: Наука, 1985. – 256 с. 2. Русяк И.Г. Структура и возможности информационно-аналитической системы экологического мониторинга Ижевска / И.Г. Русяк, М.М. Горохов, А.В. Микрюков, Б.В. Севастьянов // Информационные технологии в инновационных проектах: Тр. III Междунар. науч.-технич. конференции (23-24 мая 2001 г.). – Ч. 1. – Ижевск: Изд-во Ижевского радиозавода, 2001. – С. 65-67. 3. Прокопенко М.Н. Мероприятия, направленные на снижение выбросов автотранспорта / М.Н. Прокопенко // Сводный том "Охрана атмосферы и предельно допустимые выбросы (ПДВ) города Белгорода". – Белгород, 2008. – С. 71-89. 4. Берлянд М.Е. Прогноз регулирования загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 272 с. 5. Микрюков А.В. Моделирование распространения примесей в атмосфере от источников загрязнения / А.В. Микрюков // Высокие технологии в механике: Матер, науч.-практ. конференции. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. – С. 87. 6. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / Под ред. А.М. Яглома. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 352 с. 7. Софиев М.А. Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по данным моделирования и измерений / М.А. Софиев, В.Ф. Софиева // Математическое моделирование. – 2000. – Т. 12. – № 4. – С. 20–32. 8. Коваль В.Н. Изменение экологической обстановки в г. Белгороде с учетом прироста автотранспорта / В.Н. Коваль, М.Н. Прокопенко // Экологические системы и приборы. – 2009. – № 3. – С. 20-23. 9. Прокопенко М.Н. Возможность применения распределенных вычислений в решении задачи экологического мониторинга / М.Н. Прокопенко, С.А. Серовиков // Гуманитарные науки: сборник научных трудов: вып. 16 / Современная гуманитарная академия, Белгородский филиал. – Белгород: ООО "Гик", 2008. – С. 201-210. 10. Паращук Е.М. Результаты моделирования распространения выбросов автотранспорта на ограниченной территории города / Е.М. Паращук, В.Н. Коваль, М.Н. Прокопенко // Экологические системы и приборы. – 2007. – № 3. – С. 56-59. 11. Прокопенко М.Н. Геоинформационная система экологического мониторинга загрязнения атмосферы от автотранспорта на ограниченной территории / М.Н. Прокопенко // Молодые ученые СГА. – М.: СГУ, 2009. – С. 27-31.

УДК 004.94

**Вживання інформаційних технологій для вирішення завдань екологічного моніторингу забруднення атмосфери мегаполісів / Дзюба С.М., Беляніна Н.В., Прокопенко М.М., Серовіков С.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 21. – С. 58 – 65.**

У роботі показано використання сучасних інформаційних технологій для вирішення актуального прикладного завдання екологічного моніторингу забруднення атмосфери мегаполісів. Лл.: 2. Табл.: 1. Бібліогр.: 11 назв.

**Ключові слова:** інформаційні технології, екологічний моніторинг, забруднення атмосфери.

UDC 004.94

**The application of Information technologies for ecological monitoring of megalopolis air pollution / Dzubas S.M., Beljanina N.V., Prokopenko M.N., Serovikov S.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 21. – P. 58 – 65.**

The article shows how to use modern Information technologies to solve an actual application problem dealt with ecological monitoring of megalopolis air pollution. Figs: 2. Tabl.: 1. Refs: 11 titles.

**Key words:** Information technologies, ecological monitoring, air pollution.

*Поступила в редакцію 13.10.2009*